

**APLIKASI PENGINDERAAN JAUH MULTITEMPORAL  
UNTUK MONITORING KEJADIAN UPWELLING  
DI PERAIRAN BAGIAN SELATAN PULAU JAWA - LAUT TIMOR**

Ismail Pratama  
ippratamaismail@gmail.com  
Nurul Khakhim  
nurulkhakhim@ugm.ac.id

**Abstract**

*Upwelling events at WPP RI 573 start from coastal region at south of East Java and Bali. Upwelling zone expansion affected by surface wind, the faster the wind blows resulted in the rise of Ekman transport. Upwelling movement at WPP RI 573 affected by ocean surface current. While El Nino and IOD +, SST is colder than normal years so it caused intensity and area of upwelling become rised with duration during Juni to Oktober. Whereas La Nina and IOD -, SST is hotter than normal years so it caused intensity and area of upwelling become descend with duration during July to October.*

**Keywords :** *Upwelling, Sea Surface Temperature, Chlorophyll-a, WPP RI 573*

**Abstrak**

*Upwelling* di zona WPP RI 573 umumnya terbentuk di sepanjang pantai di selatan Jawa Timur dan Bali yang ditandai dengan rendahnya nilai SPL dan tingginya konsentrasi klorofil a di sekitar perairan tersebut. Perluasan zona *upwelling* dipengaruhi oleh angin yang bertiup di permukaan, semakin cepat angin yang bertiup mengakibatkan menguatnya transport Ekman. Pergerakan *upwelling* yang terpantau pada zona WPP RI 573 bergerak dari arah timur ke barat dimana dipengaruhi oleh arus permukaan pada kejadian tersebut. Pada saat terjadi El Nino sedang dan IOD positif, SPL pada perairan tersebut menjadi lebih rendah dibandingkan tahun normal sehingga mengakibatkan intensitas dan luasan *upwelling* semakin meningkat dengan durasi *upwelling* selama 5 bulan yaitu dari bulan Juni hingga Oktober. Berbeda pada saat terjadi La Nina kuat dan IOD negatif, SPL lebih tinggi dibandingkan dengan tahun-tahun normal sehingga mengakibatkan intensitas dan luasan *upwelling* menurun dengan durasi *upwelling* selama 4 bulan yaitu dari bulan Juli hingga Oktober.

**Kata kunci :** *Upwelling, Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a, WPP RI 573*

**PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki wilayah lautan yang lebih luas dibandingkan luasan daratannya. Luas wilayah laut mencapai 2/3 dari luas wilayah daratan. Laut merupakan medium yang selalu bergerak baik di permukaan maupun dibawahnya. Hal ini menyebabkan terjadinya sirkulasi air baik dalam skala kecil maupun dalam skala besar (Nontji, 2005). Iklim merupakan faktor global yang dapat mengakibatkan perbedaan pergerakan dan distribusi massa air serta perubahan karakteristik fisika, kimia dan biologi laut. Iklim terbentuk terutama oleh perbedaan energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi yang berakibat pada perbedaan suhu dan tekanan udara. Perbedaan tekanan udara dapat menimbulkan pergerakan angin daerah tekanan

tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara juga mengakibatkan perbedaan kelembaban dan curah hujan yang jatuh ke laut. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan atau perbedaan karakteristik antar wilayah yang mendapatkan curah hujan tinggi dan curah hujan rendah (Sunarto, 2008)

*Upwelling* merupakan penaikan massa air laut dalam (kedalaman 100 sampai 200 meter) ke permukaan (sampai lapisan euphotic) yang disebabkan oleh berbagai pengaruh, salah satunya yaitu divergensi arus dimana angin yang bertiup di ekuator atau yang bertiup sejajar pantai akan mendorong massa air menjauh dari pantai (Thurman, 1988). *Upwelling* pantai disebabkan pengaruh angin yang bertiup sejajar pantai, yang mengakibatkan massa air permukaan bergerak

menjauhi pantai akibat gaya coriolis, dan kekosongan massa air pada permukaan akan diisi oleh massa air di bawahnya (Thurman, 1988).

*Upwelling* terjadi di beberapa perairan Indonesia, salah satunya terjadi di sepanjang selatan Jawa hingga Bali (Susanto, 2001). Data tentang lokasi *upwelling* sangat berguna untuk bidang perikanan hal ini dikarenakan pada daerah tersebut memiliki potensi perikanan yang besar. Dalam bidang perikanan, variabilitas suhu permukaan laut dapat menjadi penanda lokasi *upwelling*, sedangkan variabilitas konsentrasi klorofil-a dapat digunakan sebagai indikasi tingkat kesuburan perairan.

Pemetaan daerah *upwelling* dilakukan dengan mengidentifikasi variabilitas suhu permukaan laut dan juga konsentrasi klorofil-a yang dapat dilakukan berdasarkan data-data penginderaan jauh karena memiliki jangkauan wilayah yang luas dibanding dengan pengecekan langsung di lapangan dan juga dapat dilakukan secara berkala. Kelemahan pada penggunaan citra penginderaan jauh ini yaitu, walaupun panjang gelombang yang digunakan sensitif terhadap perubahan dan perbedaan suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil – a, tetapi tidak dapat menembus awan. Sedangkan daerah penelitian yang terletak pada daerah tropis dimana tutupan awan yang sangat tinggi, tentunya hal ini dapat mengurangi ketersediaan data secara kontinue dan lengkap. Data yang digunakan adalah citra bulanan aqua MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spektroradiometer) level 3. Hal ini dimaksudkan agar seluruh daerah penelitian dapat terpetakan secara keseluruhan. Pada penelitian ini juga menggunakan data Argo Float yang merupakan hasil pengukuran insitu dari parameter suhu permukaan laut. Data Argo float bisa digunakan untuk memvalidasi data suhu permukaan laut pada citra MODIS karena data tersebut dianggap dapat mewakili data pengukuran lapangan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan citra MODIS level 1B tahun 2013 dan level 3 Suhu Permukaan Laut (SPL) bulanan dan konsentrasi klorofil-a bulanan (dari tahun 2004-2013). Data pendukung lainnya yaitu hasil pengukuran lapangan Argo Float, index SOI, IOD, data angin bulanan dari ECMWF, dan data arus dari OSCAR NOAA.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis deskriptif dan analisis statistik. Analisis deskriptif dengan cara mendeskripsikan sebaran *upwelling* pada beberapa daerah dengan metode transek yaitu di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTB, dan NTT pada beberapa variasi iklim global yang terjadi selama tahun 2004-2013. Analisis statistik digunakan untuk menghitung korelasi perhitungan SPL terhadap hasil pengukuran Argo Float. Penelitian dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut;

### Tahap Pesiapan

Pengumpulan data dilakukan pada beberapa situs internet. Pengumpulan data citra MODIS level 1B dan citra MODIS level 3 SPL bulanan dan konsentrasi klorofil-a bulanan didapat dari instansi Balai Penelitian dan Observasi Laut (BPOL) dan situs <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>. Data SOI (South Oscillation Index) dan IOD (Indian Ocean Dipole) diunduh dari <http://www.bom.gov.au> dan <http://www.jamstec.go.jp>. Persebaran angin bulanan didapat dari situs <http://www.ecmwf.int/> dan persebaran arus bulanan menggunakan data satelit altimetri NOAA yaitu OSCAR yang didapat dari situs <http://www.oscar.noaa.gov/>.

### Tahap Pengolahan Data

Data yang didownload pada internet dan instansi BPOL merupakan data level 1B dan level 3 dalam format HDF (Hierarchical Data Format). Dengan bantuan software ENVI 4.7 SP 1 dan bantuan plug-in Ocean Color dilakukan pengolahan untuk kedua level data tersebut. MODIS level 1B menggunakan formula ATBD 25 untuk penentuan SPL dan ATBD 19 untuk penentuan konsentrasi klorofil-a. MODIS level 3 juga menggunakan algoritma yang sama, karena MODIS level 3 merupakan rerata dari citra MODIS level yang lebih rendah.

Data arus dan angin berisikan nilai u dan v yang memiliki format data NetCDF (Network Common Data Form). Selanjutnya data tersebut dapat diekstrak dengan menggunakan software ODV (Ocean Data View) menjadi file berformat ASCII. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan rumus trigonometri untuk menghasilkan data kecepatan dan arah.

Argo float berisikan data suhu yang dapat didownload dari salah satu Argo Data Centre

(GODAE Webserver), yang sebelumnya telah dipilih posisi dan waktu perekaman Argo yang akan diambil. Data Argo float memiliki format NetCDF dan dapat dibaca oleh software ODV dengan cara melakukan konversi data Argo yang menjadi data ASCII. Hasil dari data Argo Float selanjutnya digunakan untuk melakukan verifikasi terhadap data hasil pengolahan citra MODIS level 1B.

### Klasifikasi Data

Kunarso (2005) mengelompokan intensitas *upwelling* menjadi 3 berdasarkan kisaran rata-rata suhu dan klorofil-a di seluruh perairan Indonesia yaitu pada suhu 25 - 28 °C dan klorofil-a 0,7 – 10 mg/m<sup>3</sup>.

Tabel Klasifikasi *Upwelling*

SPL	Klorofil-a	Potensi
25-26 °C	> 2 mg/m <sup>3</sup>	Tinggi
26-27 °C	1-2 mg/m <sup>3</sup>	Sedang
27-28 °C	0,7-1 mg/m <sup>3</sup>	Rendah

Sumber : Kunarso (2005)

### Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan cara mendeskripsikan kejadian *upwelling* pada beberapa garis transek melintang pada lintang 9<sup>0</sup> LS dan 102-127<sup>0</sup> BT, dan transek membujur pada 6 tempat yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTB dan NTT. Transek membujur diambil tegak lurus terhadap pantai dengan panjang sebesar 1,5<sup>0</sup>, hal ini didasarkan pada lebar maksimum *upwelling* di Indonesia. Analisis yang digunakan yaitu analisis deskriptif terkait dengan perubahan SPL dan konsentrasi klorofil-a saat terjadinya *upwelling* dan pengaruh dari iklim global terhadap luasan, durasi dan intensitas *upwelling* yang terjadi pada kondisi iklim global tersebut.

### Penentuan Iklim Global

Iklim global ENSO didasarkan pada indeks SOI. Menurut Gunawan (2007), indeks SOI dikelompokkan menjadi:

Tabel Penentuan ENSO dari indeks SOI

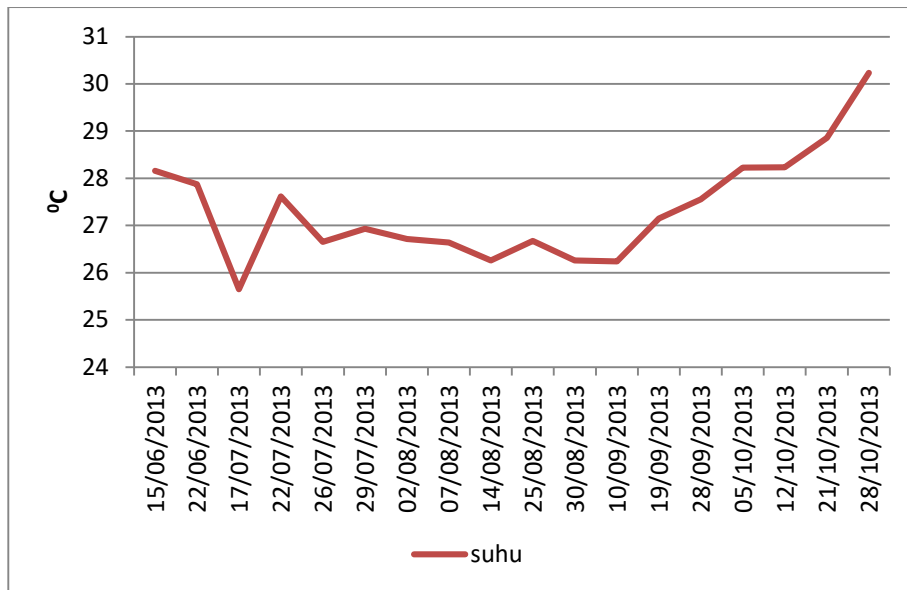
Indeks SOI	Kondisi Iklim Global
Dibawah -10 selama 6 bulan	El Nino kuat
Antara 5 hingga 10 selama 6 bulan	El Nino Sedang
Antara -5 hingga 5 selama 6 bulan	Kondisi normal
Antara 5 hingga 10 selama 6 bulan	La Nina Sedang
Diatas 10 selama 6 bulan	La Nina kuat

Pada kejadian El Nino, mengakibatkan kondisi SPL di perairan Indonesia lebih dingin dibandingkan dengan kondisi normal, sedangkan pada saat La Nina mengakibatkan SPL di perairan Indonesia lebih tinggi dibandingkan kondisi normal.

Untuk iklim global dipole mode didasarkan pada indeks IOD, nilai positif menunjukkan terjadinya dipole mode positif yang ditandai dengan menurunnya SPL di perairan Indonesia, sedangkan nilai negatif menunjukkan terjadinya dipole mode negatif yang mengakibatkan SPL di perairan Indonesia menurun.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

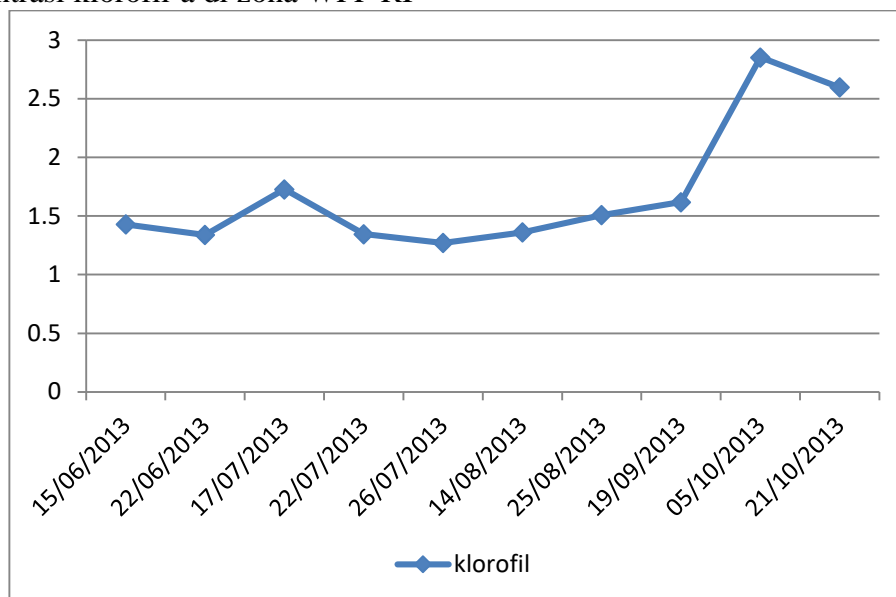
Berdasarkan indeks SOI, pada tahun 2013 merupakan tahun kejadian normal, dimana tidak terjadi El Nino maupun La Nina. Penentuan nilai SPL harian pada citra MODIS level 1B mengacu pada algoritma ATBD 25 dengan citra yang digunakan pada bulan Juni hingga bulan Oktober yang merupakan bulan-bulan kejadian *upwelling* (Kunarso, 2005). Pemilihan citra dilakukan pada daerah yang memiliki tutupan awan kurang dari 50% dari luas scene citra. Berdasarkan hasil pengolahan citra MODIS level 1B tersebut, didapatkan penyebaran SPL yang bervariasi pada tiap harinya.



Kisaran rerata SPL harian di Zona WPP RI 573 bulan Juni-Oktober 2013

Penentuan nilai klorofil-a pada citra MODIS level 1B menggunakan formula OCV-V2 dengan cara membandingkan band 10 dan 11. Berdasarkan perhitungan formula tersebut maka didapatkan persebaran konsentrasi klorofil di daerah penelitian. Konsentrasi klorofil-a di zona WPP RI

573 bervariasi tiap harinya. Konsentrasi klorofil-a meningkat setiap harinya dari bulan Juni hingga Oktober. Peningkatan konsentrasi yang cukup banyak terjadi pada tanggal 5 Oktober 2013 dimana kenaikannya mencapai  $2,8 \text{ mg/m}^3$ .



Rerata konsentrasi klorofil-a harian di zona WPP RI 573 bulan Juni-Oktober 2013

Verifikasi hasil pengolahan citra menggunakan data dari Argo Float yang merupakan hasil pengukuran insitu. Data tersebut digunakan sebagai hasil pengukuran di lapangan. Verifikasi disesuaikan berdasarkan posisi Argo dan waktu perekamannya yang sesuai dengan waktu perekaman citra. Dari bulan Juni hingga Oktober tahun 2013, terdapat sebanyak 15 Argo Float yang tersebar dan merekam SPL di daerah

penelitian. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, terdapat selisih sekitar  $0,014 - 1,396 ^\circ\text{C}$  dengan kesalahan relatif rata-rata mencapai 2,466%. Nilai korelasi antara data lapangan dengan data pada citra yaitu sebesar 0,368, yang menurut klasifikasi Guilford (1956) memiliki korelasi positif yang rendah.

Pada tahun 2004-2013 berdasarkan indeks SOI terdapat 2 tahun anomali yaitu pada tahun

2006 dimana pada saat itu terjadi El Nino sedang dari bulan Mei hingga Oktober dan pada tahun 2010 terjadi La Nina kuat pada bulan Juli hingga Desember. Pada tahun yang sama, pada saat itu sama-sama terjadi dipole mode positif. Hal ini ditunjukkan dengan nilai SOI untuk kejadian el nino sedang yaitu  $< -5$  sampai  $-10$  yang terjadi selama 6 bulan pada tahun tersebut. La nina kuat ditunjukkan dengan nilai SOI  $> 10$  yang terjadi selama 6 bulan pada tahun tersebut (Maulidiya, 2012).

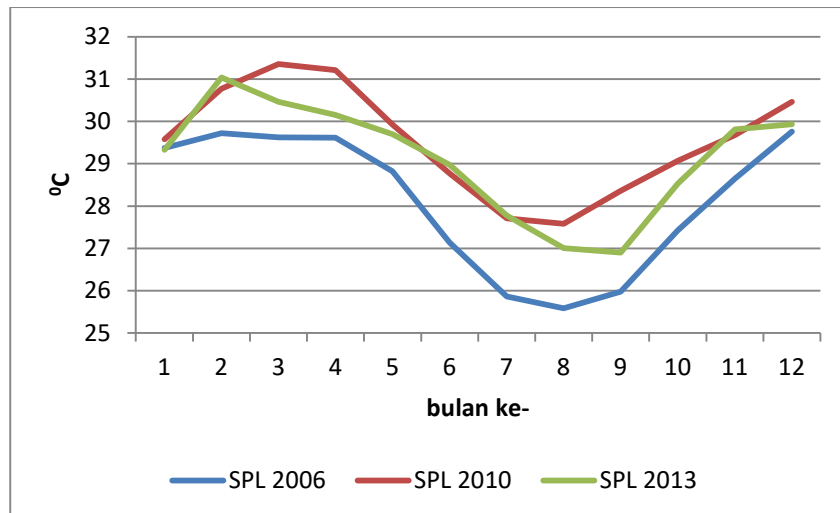
Berdasarkan hasil pengolahan citra MODIS harian level 1B pada tahun 2013, yang merupakan kondisi iklim normal dengan kisaran indeks SOI pada  $-1,9$  hingga  $13,9$ . Dimana pada bulan Juni, Juli, dan September indeks SOI bernilai positif dan kemudian diselingi pada bulan Agustus dan Oktober bernilai negatif. Hal ini mengakibatkan kondisi SPL harian maupun bulanan pada tahun tersebut cenderung didominasi dengan suhu hangat. Berdasarkan hasil perhitungan SPL dengan menggunakan algoritma ATBD 25 dan data Argo float sebagai data lapangan, terdapat kesalahan terdapat selisih sekitar  $0,014 - 1,396$  °C dengan relatif sebesar 2,46%. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan korelasi positif terhadap data lapangan dengan data hasil pengolahan citra MODIS level 1B sebesar 0,368, yang menurut klasifikasi Guilford (1956) memiliki korelasi yang rendah.

Salah satu keunggulan dalam penggunaan citra MODIS dengan level data yang lebih rendah yaitu menghasilkan data dengan resolusi spasial yang lebih besar dibandingkan dengan level data yang lebih tinggi. Data MODIS level 1B menghasilkan data dengan resolusi spasial 1 km, sedangkan data MODIS level 3 hanya menghasilkan data dengan resolusi spasial

sebesar 4 km. Namun salah satu kendala dalam pengukuran SPL maupun konsentrasi klorofil-a yaitu tutupan awan, sedangkan di daerah tropis memiliki tutupan awan yang luas, sehingga sangat mempengaruhi hasil dalam penentuan nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a dimana banyak area yang tidak terpetakan.

Monitoring *upwelling* membutuhkan citra yang dapat mencakup keseluruhan daerah penelitian agar dapat terpetakan secara keseluruhan, namun pada citra dengan komposit harian tidak dapat untuk melakukan hal tersebut. Banyak daerah yang tidak dapat terpetakan akibat adanya tutupan awan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini menggunakan citra dengan komposit bulanan agar dapat memetakan daerah penelitian secara keseluruhan. Citra komposit bulanan sendiri merupakan rerata dari hasil pengolahan citra bulanan

Pada saat terjadi fenomena El Nino dan IOD positif yaitu pada tahun 2006, kondisi SPL di zona WPP RI 573 lebih rendah dibandingkan dengan kejadian La Nina dan tahun normal. Hal ini ditunjukkan dengan sebaran suhu dingin yang cukup luas pada tahun tersebut. Kondisi La Nina yaitu pada tahun 2010, mengakibatkan SPL di zona WPP RI 573 lebih hangat dibandingkan dengan kondisi normal dan El Nino, yang ditandai dengan sebaran suhu hangat yang dominan pada tahun tersebut. Kondisi tahun 2013, SPL lebih hangat dibandingkan saat kejadian El Nino tetapi lebih dingin dibandingkan saat kejadian La Nina, namun suhu hangat masih mendominasi pada tahun tersebut, hal ini diakibatkan oleh iklim global dipole mode negatif yang terjadi pada tahun tersebut, dan juga indeks SOI yang bernilai positif yang mengakibatkan SPL pada tahun ini menjadi hangat.

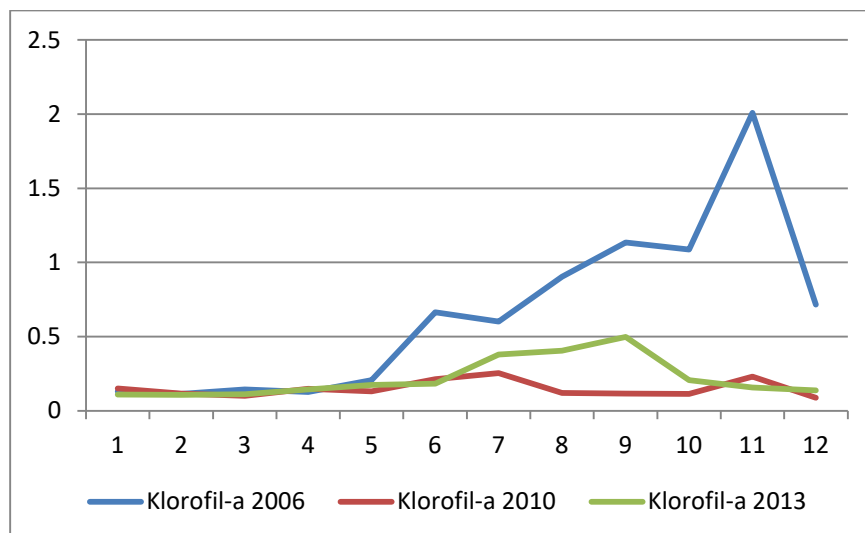


Grafik perbandingan SPL pada tahun 2006, 2010 dan 2013

Berdasarkan grafik SPL rerata bulanan pada tahun 2006 yang merupakan tahun kejadian El Nino lebih rendah dibandingkan dengan kejadian pada tahun normal, diikuti dengan kondisi SPL pada tahun normal yang lebih rendah dibandingkan dengan kejadian La Nina. Suhu terendah pada tahun 2006 dan 2010 terjadi pada bulan Agustus sedangkan pada tahun 2013 terjadi

pada bulan September dimana lebih telat satu bulan dibandingkan dengan tahun 2006 dan 2010.

Berbeda halnya dengan konsentrasi klorofil-a, pada saat kondisi El Nino memiliki konsentrasi klorofil-a yang paling tinggi dibandingkan dengan saat kejadian normal dan La Nina. Kemudian diikuti oleh kondisi tahun normal yang lebih tinggi dibandingkan pada saat La Nina.

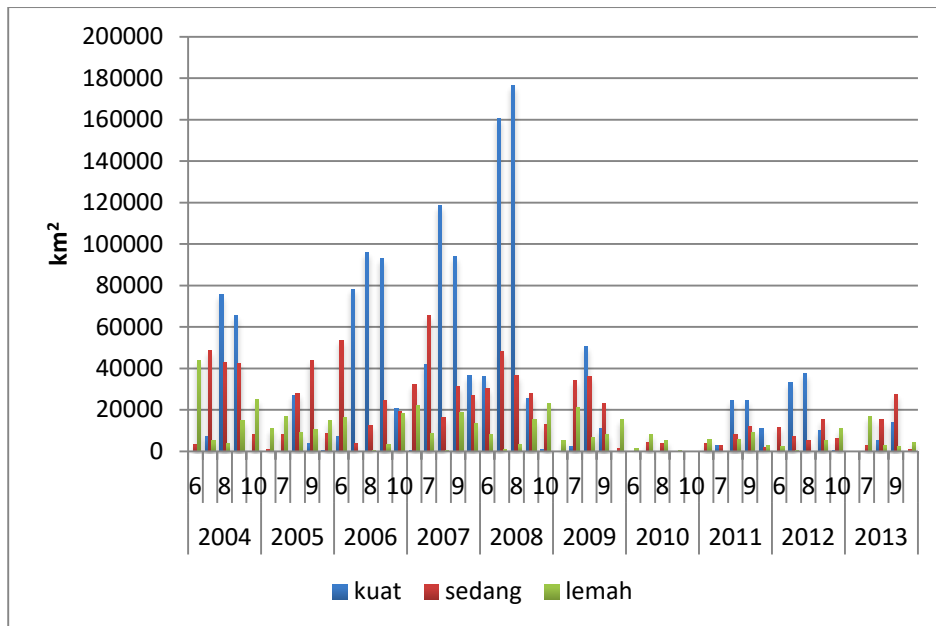


Grafik perbandingan konsentrasi klorofil-a tahun 2006, 2010 dan 2013

Berdasarkan grafik perbandingan konsentrasi klorofil-a, pada tahun 2006 mengalami rerata konsentrasi klorofil-a paling maksimum pada bulan November, dengan konsentrasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 2010 dan 2013. Konsentrasi klorofil-a maksimum pada tahun 2013 terjadi

pada bulan September, dan pada 2010 tidak terdapat fluktuasi konsentrasi klorofil-a yang cukup signifikan.

Berdasarkan klasifikasi *upwelling*, maka didapatkan grafik luasan *upwelling* sebagai berikut :



Grafik Prakiraan Luasan *Upwelling* tahun 2004-2013

*Upwelling* di zona WPP RI 573 umumnya hanya terjadi sekitar bulan Juni hingga bulan Oktober dimana pada saat itu perairan dipengaruhi oleh angin musim timur. Pada grafik 5.3, dapat diketahui bahwa pada tahun 2010 memiliki luasan *upwelling* yang paling kecil. Hal ini dikarenakan kondisi SPL yang tinggi dan konsentrasi klorofil-a yang rendah pada tahun tersebut di zona WPP RI 573. Menurut Kemili (2012) saat terjadi El Nino dan dipole mode positif mengakibatkan intensitas dan durasi *upwelling* yang semakin menguat yang diakibatkan oleh penurunan suhu permukaan laut yang lebih rendah. Tetapi pada hasil klasifikasi *upwelling* pada grafik menunjukkan hal yang berbeda, El Nino dan dipole mode positif yang terjadi pada tahun 2006 hanya menghasilkan klasifikasi luasan *upwelling* yang lebih sempit dibandingkan dengan tahun 2007 dan 2008 yang masing-masingnya mencapai luasan sekitar 118.452 km<sup>2</sup> dan 176.529 km<sup>2</sup> pada bulan Agustus. Sedangkan pada bulan yang sama di tahun 2006 luasan *upwelling* hanya mencapai 95.989 km<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan oleh kualitas data yang dihasilkan citra MODIS level 3 konsentrasi klorofil pada tahun 2006 banyak terdapat data yang kosong yang disebabkan oleh gangguan awan sehingga menyulitkan sensor MODIS pada waktu kejadian tersebut merekam dengan baik data di lokasi penelitian. Banyaknya data yang kosong tersebut, tentunya akan sangat

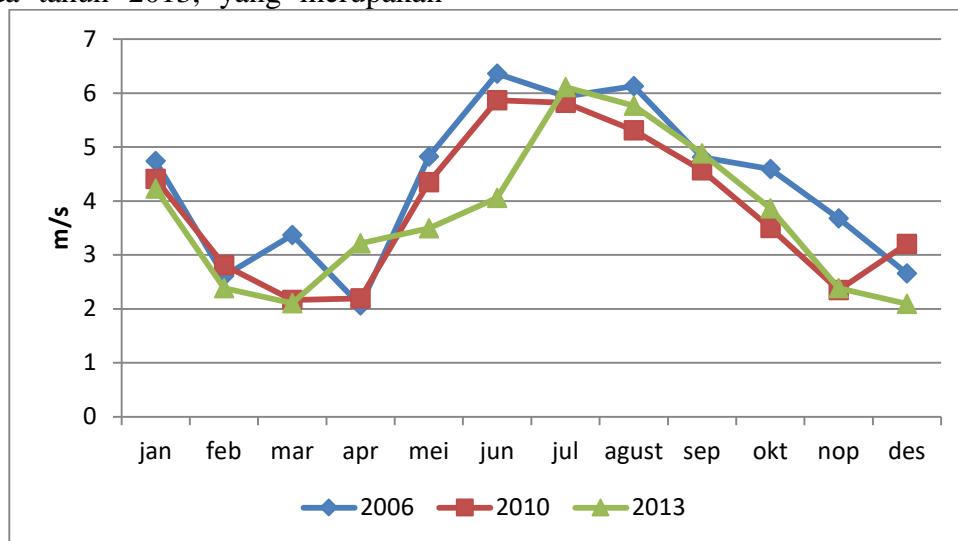
mempengaruhi hasil klasifikasi *upwelling* pada tahun tersebut.

Pada tahun 2004-2013, terdapat 2 fenomena iklim global di perairan Indonesia, yaitu El Nino berkekuatan sedang yang terjadi pada tahun 2006 dan La Nina berkekuatan kuat yang terjadi pada tahun 2010. Fenomena tersebut tentunya mempengaruhi distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a di daerah penelitian. Selain terjadi El Nino dan La Nina, pada tahun-tahun tersebut juga terjadi fenomena dipole mode yaitu pada tahun 2006 terjadi fenomena dipole mode positif yang mengakibatkan kondisi perairan di Indonesia khususnya di selatan pulau Jawa menjadi lebih dingin. Pada tahun 2010 terjadi fenomena dipole mode positif yang mengakibatkan perairan selatan Jawa menjadi lebih dingin. Selain tahun-tahun kejadian tersebut merupakan tahun normal dimana tidak terjadi El Nino maupun La Nina, tetapi perairan di selatan Jawa tetap dipengaruhi oleh dipole mode yang mempengaruhi variabilitas SPL di perairan tersebut. Fenomena tersebut tentunya dapat mempengaruhi kejadian *upwelling* pada tahun-tahun tersebut seperti intensitas dan durasi kejadian *upwelling*.

Akibat adanya fenomena El Nino dan La Nina pada tahun 2006 dan 2010, mengakibatkan perubahan kecepatan angin yang bertiup di zona WPP RI 573. Adanya variabilitas range SPL dan klorofil-a yang cukup jauh yang terjadi pada

tahun tersebut, salah satu penyebabnya adalah perbedaan kecepatan angin yang bertiup pada saat angin muson tenggara. Gambar 5.31 jelas terlihat bahwa pada saat angin muson tenggara yang terjadi pada bulan Juni hingga Agustus di tahun 2006 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 2010. Rerata angin bulan April dan Mei pada tahun 2006 dan 2010, sama-sama mengalami kenaikan dan mencapai puncaknya pada bulan Juni. Tetapi kecepatan angin yang bertiup pada kejadian El Nino lebih tinggi dibandingkan dengan saat kejadian La Nina. Sedangkan pada tahun 2013, yang merupakan

tahun normal, fluktuasi rerata kecepatan angin bulanan mencapai puncaknya pada bulan Juli, lebih telat satu bulan dibandingkan dengan saat kejadian El Nino dan La Nina. Saat terjadi muson tenggara, kecepatan angin mencapai puncaknya, yang mengakibatkan intensitas *upwelling* semakin menguat dan juga meningkatnya proses adveksi suhu permukaan laut sehingga SPL menjadi lebih rendah. Intensitas *upwelling* yang menguat mengakibatkan meningkatnya perkembangan konsentrasi klorofil-a yang lebih luas.



Hasil transek membujur di enam wilayah dari provinsi Jawa Barat hingga Nusa Tenggara Timur didapatkan deskripsi SPL dan konsentrasi

klorofil-a yang bervariasi menurut bulan, lokasi dan kondisi iklim global yang berbeda, yaitu :

Tabel Lokasi SPL minimum dan klorofil-a maks saat El Nino dan Dipole Mode positif

Bulan	Lokasi SPL min	Nilai SPL min	Lokasi klorofil-a maks	Nilai klorofil-a maks
<b>Juni</b>	Jawa Timur	26,31	Jawa Barat	1,98
<b>Juli</b>	Jawa Timur	24,60	Jawa Timur	0,94
<b>Agustus</b>	Jawa Tengah	24,62	Jawa Barat	2,55
<b>September</b>	Jawa Barat	24,25	Jawa Tengah	3,98
<b>Oktober</b>	Jawa Barat	25,62	Jawa Timur	3,88

Tabel Lokasi SPL minimum dan klorofil-a maks saat La Nina dan Dipole Mode positif

Bulan	Lokasi SPL min	Nilai SPL min	Lokasi klorofil-a maks	Nilai klorofil-a maks
<b>Juni</b>	Bali	28,29	Bali	0,40
<b>Juli</b>	Bali	27,18	Bali	0,49
<b>Agustus</b>	Jawa Timur	26,80	Jawa Tengah	0,18
<b>September</b>	NTB	28,08	Bali	0,24
<b>Oktober</b>	NTB	28,59	NTT	0,14



Tabel lokasi SPL minimum dan klorofil-a maks saat kondisi normal dan Dipole Mode negatif

Bulan	Lokasi SPL min	Nilai SPL min	Lokasi klorofil-a maks	Nilai klorofil-a maks
<b>Juni</b>	NTT	29,08	Bali	0,26
<b>Juli</b>	Jawa Timur	27,17	Bali	1,35
<b>Agustus</b>	Jawa Timur	26,11	Bali	0,96
<b>September</b>	Jawa Tengah	26,08	Bali	1,84
<b>Oktober</b>	Jawa Barat	27,34	Bali	0,50

*Upwelling* pada saat kejadian El Nino sedang dan dipole mode positif terjadi pada bulan Juni hingga Oktober, dengan puncak *upwelling* terjadi pada bulan Agustus. Berdasarkan pusat SPL terendah dan konsentrasi klorofil-a tertinggi, lokasi *upwelling* mulai terjadi di sekitar daerah Jawa Timur dan Bali kemudian bergerak ke arah barat hingga Jawa Barat. Hal ini ditunjukkan oleh tabel diatas yaitu perkembangan SPL minimum dimulai dari Jawa Timur dan bergerak ke arah barat hingga ke Jawa Barat. Berbeda dengan perkembangan SPL, nilai konsentrasi klorofil-a maksimum cenderung tidak terjadi pada bulan yang sama.

SPL minimum pada saat kejadian La Nina dan dipole mode positif dimulai terbentuk di daerah Bali dan kemudian bergerak ke daerah Jawa Timur di bulan Agustus, setelah itu SPL minimum terbentuk di Nusa Tenggara Barat. Hampir sama dengan SPL, konsentrasi klorofil-a maksimum mulai terbentuk di daerah Bali, kemudian bergerak ke arah barat hingga Jawa Tengah di bulan Agustus. Setelah itu konsentrasi maksimum terbentuk di Bali dan Nusa Tenggara Timur.

Pada saat kejadian normal dan dipole mode negatif, lokasi SPL minimum bergerak dari Nusa Tenggara Timur, kemudian terus bergerak ke arah barat hingga Jawa Barat. Sedangkan pergerakan konsentrasi klorofil-a maksimum dominan terjadi di daerah Bali.

Hasil tersebut dapat diketahui bahwa pergerakan SPL minimum di WPP RI 573 cenderung terbentuk di daerah sekitar Jawa Timur dan Bali dan kemudian bergerak barat sampai Jawa Barat. Sedangkan konsentrasi klorofil-a maksimum cenderung waktu terjadinya sama dengan SPL minimum, tetapi berbeda lokasi.

Berdasarkan hasil transek tersebut terhadap iklim global, terlihat pengaruh dengan adanya fenomena El Nino, La Nina, IOD positif dan IOD negatif terhadap distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia. Hubungan antar fenomena ada yang saling menguatkan dan ada pula yang saling melemahkan. Terlihat adanya perbedaan nilai SPL dan konsentrasi klorofil-a pada setiap fenomena tersebut. Saat kejadian El Nino kondisi suhu di perairan Indonesia lebih rendah dibandingkan dengan tahun normal, dan pada kejadian La Nina kondisi suhu di perairan Indonesia lebih hangat dibandingkan tahun normal. Akibat adanya perubahan SPL tersebut, juga ikut mempengaruhi persebaran konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia. Pada saat El Nino, kondisi klorofil-a lebih tinggi dibandingkan dengan tahun normal, sedangkan saat kejadian La Nina, klorofil-a di perairan Indonesia lebih rendah dibandingkan tahun normal.

Perubahan yang terjadi pada SPL dan klorofil-a pada saat kejadian iklim global yang berbeda akan mengakibatkan perbedaan intensitas dan durasi *upwelling*. Saat kejadian El Nino, *upwelling* berkembang lebih luas dibandingkan dengan tahun normal, sedangkan pada saat kejadian La Nina mengakibatkan kejadian *upwelling* memiliki durasi yang lebih pendek dan luasan yang lebih sempit dibandingkan tahun normal.

## KESIMPULAN

1. Citra MODIS dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor penentu kejadian *upwelling* yaitu SPL dan konsentrasi klorofil-a. Penentuan konsentrasi klorofil-a pada citra MODIS level 1B menggunakan algoritma ATBD 19, dan penentuan SPL menggunakan algoritma ATBD 25 dengan diverifikasi dengan data Argo Float sehingga

menghasilkan kesalahan relatif sebesar 2,466% dengan selisih suhu sekitar 0,014 – 1,396 °C.

2. Adanya fluktuasi SPL dan konsentrasi klorofil-a setiap tahunnya mengakibatkan variasi kejadian *upwelling* baik intensitas, luasan dan durasi kejadiannya. Kondisi SPL yang rendah dan konsentrasi klorofil-a yang tinggi pada tahun 2006 mengakibatkan tingginya intensitas dan luasan *upwelling* pada tahun tersebut.
3. *Upwelling* pada WPP RI 573 perkembangannya dimulai terbentuk pada daerah sekitar pantai dan kemudian meluas ke laut lepas.
4. Pengaruh iklim global seperti El Nino, La Nina, IOD positif dan IOD negatif juga mempengaruhi terhadap kejadian *upwelling* di zona WPP RI 573. Pada tahun 2006 terjadi fenomena El Nino berkekuatan sedang dan IOD positif, sehingga yang menyebabkan *upwelling* yang luas dengan durasi selama 5 bulan dari bulan Juni hingga Oktober, sedangkan pada tahun 2010 terjadi La Nina kuat dan IOD – yang mengakibatkan luasan *upwelling* sangat kecil dengan durasi selama 4 bulan dari bulan Juli hingga Oktober.

#### DAFTAR PUSTAKA

Garrison, T. 1993. Oceanography, an Invitation to Marine Science. Wadsworth Inc, California, 557 p

Hendiarti, N., H. Siegel. and T. Ohde. 2004. Investigation of Different Coastal Processes in Indonesian Waters Using SeaWIFS data. Journal of Deep Sea Research II (51) : 85 – 97

Hermawan Eddy dan Komalaningsih Kokom, 2008, Karakteristik Indian Ocean Dipole Mode Samudera Hindia Hubungannya dengan Perilaku Curah Hujan di Kawasan Sumatera Barat Berbasis Analisis Mother Wavelet, Jurnal Sains Dirgantara, Vol. 5, No. 2 Hal. 109-129, Juni 2008

Hutabarat Sahala dan Stewart, 1985, Pengantar Oseanografi, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta

Ilahude dan Nontji, 1999, Oseanografi Indonesia dan Perubahan Iklim Global (El Nino dan

La Nina), Lokakarya "Kita dan Perubahan Iklim Global: Kasus El Nino – La Nina", Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta

Kemili dan Putri, 2012, Pengaruh Durasi Dan Intensitas *Upwelling* Berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Produktivitas Primer Di Perairan Indonesia, Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 4, No. 1, Hal. 66-79, Juni 2012

Kunarso, 2005, Karakteristik *Upwelling* di Sepanjang Perairan Selatan NTT hingga Barat Sumatera, Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 10, No. 1, Hal. 17-28, Maret 2005

Kunarso, 2011, Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah *Upwelling* pada Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor, Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 16, No. 3, Hal. 171-180, September 2011

Nontji, A. (edisi revisi cetakan keempat), (2005), Laut Nusantara, Djambatan, Jakarta

Pond, S. and G.L. Pickard. 1995. Introductory Dynamical Oceanography. 2<sup>nd</sup> Edition Butterworth-Heinemann. Oxford. 329 p.

Stewart, R.H. 2002. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University.

Thurman, H.V. 1991. Introductory Oceanography. Sixth Edition, Macmillan Publishing Company. New York.